

- Michel, A.S., Mestdagh, M.M. et Axelos, M.A.V. (1997). Physico-chemical Properties of Carrageenan Gels in Presence of Various Cations, *Int. J. Biol. Macromol.*, **21**, 195-200.
- Michel, C. et Macfarlane G.T. (1996). Digestive Fates of Soluble Polysaccharides from Marine Macroalgae : Involvement of the Colonic Microflora and Physiological Consequences for the Host, *J. Appl. Bacteriol.*, **80**, 349-369.
- Milford, C.A., Bleach, N.R., Sudderick, R.M., O'Flynn, P.E. et Mugliston, T.A. (1991). Calcium Alginate as a Nasal Pack, *Revue de Laryngologie*, **112**, 261-263.
- Percival, E. et McDowell, R. (1990). Algal Polysaccharides, in « Methods in Plant Biochemistry, vol. 2 : Carbohydrates », (Dey, P.M., éd), p. 523-547, Academic Press, San Diego.
- Rehm, B.H.A. et Valla, S. (1997). Bacterial Alginates : Biosynthesis and Applications, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **48**, 281-288.
- Sayag, J., Meaume, S. et Bohbot, S. (1996). Healing Properties of Calcium Alginate Dressings, *J. Wound Care*, **5**, 357-362.
- Seymour, J. (1997). Alginate Dressings in Wound Care Management, *Nursing Times*, **93**, (44), 49-52.

Acerca de los metabolitos de algas, y en general, sobre las sustancias naturales de origen marino, ver entre otros:

- Faulkner, D.J. (1998). Marine Natural Products, *Nat. Prod. Rep.*, **15**, 113-158.
- McConnell, O.J., Longley, R.E. et Koehn, F.E. (1994). The Discovery of Marine Natural Products with Therapeutic Potential, in «The Discovery of Natural Products with Therapeutic Potential», (Gullo, V.P., éd.), p. 109-174, Butterworth-Heinemann, Boston.

polisacáridos de vegetales superiores

Polisacáridos homogéneos

1. Almidón	62
A. Principales fuentes de almidón	62
cereales productores de almidones	62
almidones de tubérculos y de rizomas	65
almidones de semillas	67
características y ensayos de los almidones	67
B. Obtención del almidón	68
C. Estructura y composición: amilosa y amilopectina	69
D. Propiedades del almidón	70
E. Almidones modificados	71
F. Empleos de los almidones	72
2. Celulosa	72
A. Fuentes y estructura	72
B. Algodoneros y algodones	73
C. Celulosa y derivados hemisintéticos	76
3. Fibras alimenticias	78
A. Definición	78
B. Principales constituyentes de las fibras alimenticias de origen parietal	78
C. Fuentes de fibras alimenticias	79
D. Efectos biológicos de las fibras alimenticias	80
E. Ensayos: determinación de las fibras alimenticias	83
F. Empleos de las fibras alimenticias	83
4. Fructanas	85
drogas con inulina	86
achicoria (86), diente de león (87), otras drogas	87
5. Bibliografía	88

Trataremos aquí sólo las glucanas (almidón y celulosa) y las fructanas. El estudio de las fibras alimenticias no se separará del de la de celulosa: la composición de estas fibras insolubles es compleja pero la celulosa es frecuentemente el elemento preponderante.

1. ALMIDÓN

Es la principal sustancia de reserva de los vegetales, el almidón es una fuente energética indispensable para la alimentación del hombre y de numerosos animales. Está presente en todos los órganos vegetales y se concentra preferentemente:

- en granos de cereales (avena, trigo, maíz, arroz, centeno, sorgo) y en semillas de leguminosas (haba panosa, guisante, garbanzo, haba, lenteja) o de otras (castaña);
- en frutos: fruto del árbol del pan (*Artocarpus communis* Forst., Moraceae), plátano (*Musa × paradisiaca* L., Musaceae);
- en órganos subterráneos –en este caso preferentemente se dice fécula– de diversas especies: raíces tuberizadas de patata, mandioca o ñames, rizomas de taros;
- incluso en la médula como es el caso del sagú, preparado a partir de las estípites de una palmera, *Metroxylon sagu* Rottb. (= *M. rumphii* Martius).

En 1987 se estimó su producción mundial en 22,5 millones de toneladas, el almidón es un producto industrial con múltiples aplicaciones: el mismo año, el 58% (es decir 280.000 toneladas) del consumo francés se utilizó para usos no alimenticios (textil, papel, cartón), la farmacia y la química consumieron 63.000 toneladas.

A. PRINCIPALES FUENTES DE ALMIDÓN

Cereales productores de almidones

El almidón es un constituyente casi universal de los vegetales: nos limitaremos a citar las fuentes que tienen mayor interés industrial, las que son recogidas por las Farmacopeas así como algunos ejemplos significativos. Es más, estos productos –sobre todo en el caso de los cereales– son objeto de empleo esencialmente no farmacéutico y de una bibliografía abundante: el lector interesado podrá recurrir a ella.

Cereales. Las Poaceae (se denominan todavía frecuentemente Gramíneas) son plantas generalmente herbáceas, raramente leñosas, anuales o vivaces. Los tallos son simples, huecos y llevan hojas dísticas envoltentes con limbo paralelinervio. Las inflorescencias son complejas en panículos o espigas de espiguillas. La flor está reducida a tres estambres y a un gineceo pseudo-monómero.

El fruto de las Poaceae (excluidas las Bambusoideae) es un cariósido, *i.e.* un aquenio en el cual el tegumento seminal está soldado al pericarpio; el embrión es pequeño, basilar y exterior respecto al albumen, de dimensiones variables según las especies,

este fruto puede estar desnudo o envuelto por las glumillas adherentes o soldadas (cebada, avena). El corte transversal de un cariósido muestra, del exterior al interior:

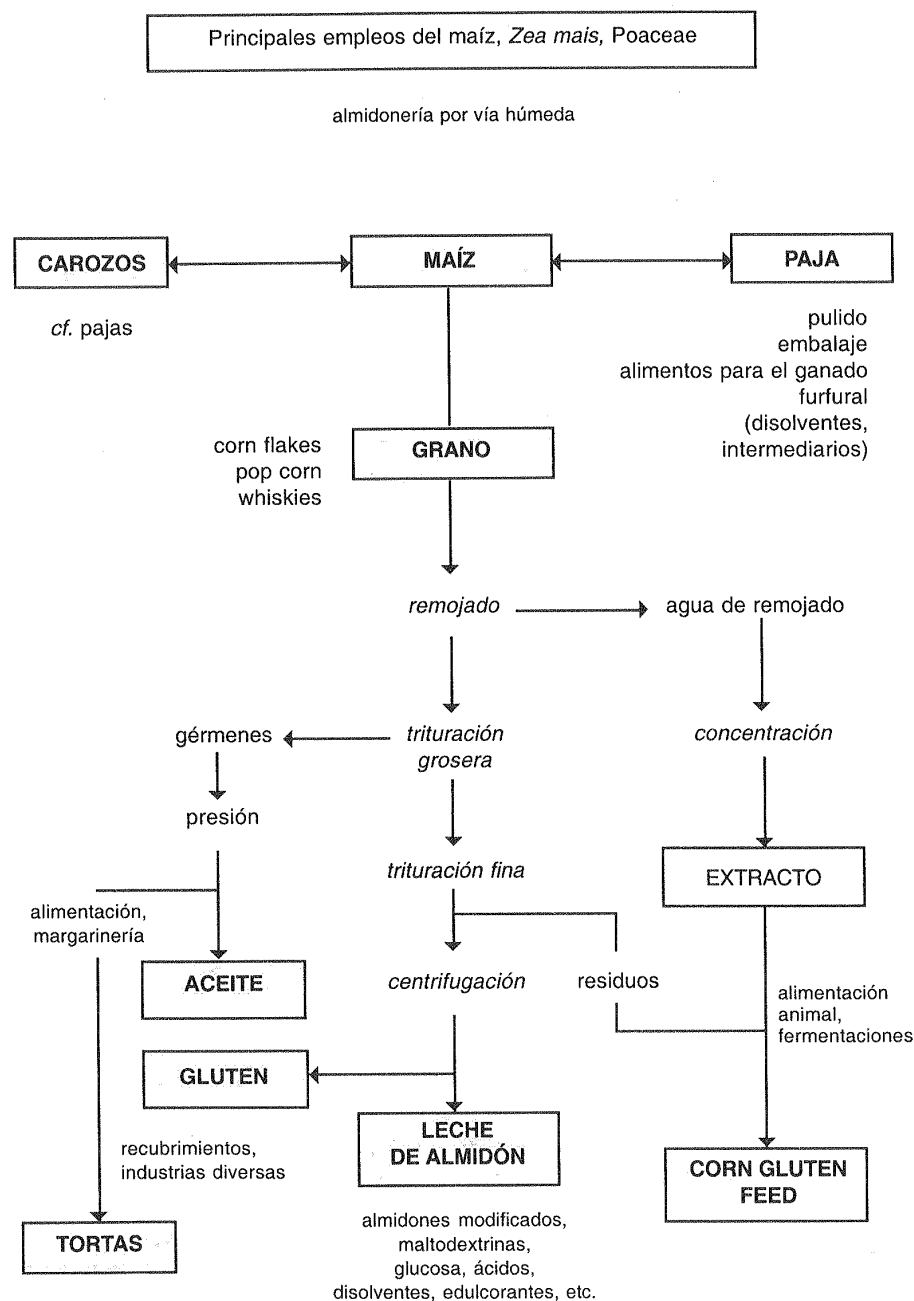
- un pericarpio con células esclerosas que se vacían durante la maduración;
- un endocarpio con células transversas y con células tubulares;
- un tegumento seminal fino recubriendo una capa de células ricas en lípidos y en aleurona;
- un albumen con grandes células amiláceas.

Composición química del grano entero (constituyentes no glucídicos). En general el contenido en agua se aproxima al 10%. La proporción de elementos minerales es baja, sobre todo en el maíz. Fósforo y hierro se encuentran en cantidades notables en el arroz y en el trigo; sin embargo los cereales son pobres en calcio. Los lípidos (triglicéridos, lecitinas, estéridos) se encuentran sobre todo almacenados en el germen, su contenido en relación a la masa del grano, varía del 2 al 5%. La proporción de proteínas varía más netamente, del 8 (arroz) al 15% (trigo). Por otra parte estas proteínas son deficitarias en determinados aminoácidos, lo que limita su valor dietético relativo. Por orden creciente de valor biológico se encuentran el trigo (refinado), maíz, mijo, trigo (grano entero), cebada, avena y arroz, sobre todo el arroz moreno. Todos los cereales son deficitarios en vitamina A y el proceso de refinado elimina gran parte de las vitaminas del grupo B, inicialmente presentes en los granos enteros. No cabe duda de que con el cultivo de las Poaceae nació –en el Neolítico– la agricultura, cada una de las grandes poblaciones humanas unió su suerte a un cereal principal. En la actualidad todavía el 80% de las calorías necesarias para la humanidad son aportadas por los cereales.

• TRIGOS (*Triticum* sp.), ARROZ (*Oryza* sp.), MAÍZ (*Zea mays* L.)

Estas plantas, extensamente cultivadas, interesan a la farmacia no sólo por su almidón sino también por: su fracción lipídica (aceite de germen de trigo, aceite de maíz oficial), sus fibras (salvado de trigo) o su contenido en fibras (arroz moreno), el gluten o la ceína (recubrimiento de comprimidos), el insaponificable del aceite de maíz (propuesto para el tratamiento de parodontopatías), los estilos de maíz* (tradicionalmente utilizados para favorecer la eliminación renal de agua y como coadyuvante en regímenes de adelgazamiento [Note Expl., 1998]), en productos de transformación del almidón: dextrinas, azúcares, polioles, y los subproductos, materias primas para las fermentaciones o para la industria química. A modo de ejemplo se incluye en la tabla de la página siguiente un resumen de los numerosos productos que provienen del maíz y de la almidonería.

* En la reciente monografía (suppl. 1997) del estilo de maíz precisa que contiene como mínimo 1,5% de potasio determinado por fotometría de llama sobre la fracción hidrosoluble del residuo de la incineración. El contenido en cenizas totales no es superior al 7%.



Las ceramidas y glicosilceramidas que se pueden extraer del trigo y del arroz constituyen una alternativa de las ceramidas animales (las ceramidas son esfingosinas *N*-aciladas por un ácido graso; la industria cosmética las utiliza por su posible capacidad en la prevención o atenuación del envejecimiento cutáneo).

Otros cereales

Que poseen interés alimenticio

Son muy numerosos y su estudio no se contemplará aquí: avena (*Avena sativa* L., su fruto puede comercializarse con la siguiente indicación: «tratamiento sintomático del estreñimiento» [Note Expl., 1998]) mijos y boronas (diversas especies de *Digitaria*, *Eleusine*, *Echinochloa*, *Panicum*, *Paspalum*, *Pennisetum*, *Setaria*), centeno (*Secale cereale* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L.), cizañas (= arroz espontáneo: *Zizania aquatica* L., *Z. latifolia* [Griseb] Stapf).

Que poseen interés farmacéutico: CEBADA, *Hordeum vulgare* L.

No hay duda de que fue el primer cereal cultivado (7000 a. J.C.), en Oriente Medio. Aparte de su valor biológico y de su importancia en la industria agroalimentaria, tiene algunos empleos en farmacia.

1. La diastasa de la cebada germinada (Ph. fsa, 10ª ed.) está constituida por las amilasas obtenidas mediante maceración acuosa a partir de la cebada germinada. Contiene como mínimo una unidad amilásica por mg, es decir que posee una actividad enzimática que, en condiciones definidas, libera por hidrólisis de un sustrato de almidón soluble un micromol de residuo glucídico reductor por minuto.

2. La malta. Esta preparación se obtiene por germinación de los granos en medio húmedo. Después de algunos días, los granos germinados se secan, se les quita sus radículas (las raicillas) y se muelen. La malta es un alimento muy asimilable porque la germinación acarrea una hidrólisis del almidón en dextrina y maltosa, de las proteínas en polipéptidos y aminoácidos; además es rica en amilasa. La malta se utiliza en dietética infantil (leches y harinas) y en insuficiencias digestivas.

3. La hordenina o *N,N*-dimetiltiramina. Presente en las raicillas, es un simpaticomimético débil cuya acción se ejerce principalmente a nivel intestinal. Se ha utilizado en el tratamiento sintomático de las diarreas infantiles y del adulto. Aunque sus efectos simpaticomiméticos sean débiles, estos compuestos se deben utilizar con prudencia en hipertensos y en los casos de tratamiento con los IMAO.

Almidones de tubérculos y de rizomas

● PATATA, *Solanum tuberosum* L., Solanaceae

Los tubérculos de la patata constituyen, después del maíz, la segunda fuente mundial de almidón. El raspado de los tubérculos y los sucesivos lavados conducen a la

leche de fécula. Un quintal de patatas permite obtener de 15 a 23 kg de fécula. La fécula de patata tratada con enzimas da lugar a un gel de textura parecida a la de las materias grasas: en la industria alimentaria reemplaza en parte a los aceites y a las grasas en los productos con bajo contenido en calorías. Tratada con enzimas, acetilada y atomizada, es un sustituto de la goma arábiga, un aglutinante, un filmógeno.

● Otros tubérculos se producen y cultivan en el mundo por su valor alimenticio. Es el caso de los ñames, de la mandioca, de distintos *arrow roots* e incluso de la batata.

Los ñames son Dioscoreaceae pantropicales pertenecientes al género *Dioscorea* (*D. alata* L., *D. batatas* Decne., *D. bulbifera* L., *D. × cayenensis* Lam., *D. esculenta* [Lour.] Burkill., *D. opposita* Thumb., etc.). Estos tubérculos, a veces voluminosos (varias decenas de kg), son bastante pobres en proteínas (1-3%, en fresco) y en lípidos (< 0,3%, en fresco) y muy ricos en almidón: 25-30% en tubérculo fresco (80-90% en materia seca). Se consumen hervidos, enteros o machacados: desecados se pueden transformar en harina o en copos. Más de un 95% de los 30 millones de toneladas que se producen en el mundo lo hacen en África (Nigeria, Costa de Marfil, Benin, Ghana, etc.).*

La mandioca, *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae) constituye un alimento amiláceo principal de las zonas tropicales del globo en todos los continentes. Una vez pelado, cortado y torrefactado –lo que disminuye en gran medida su contenido en heterósidos cianógenos (cf. pág. 196)– sirve para la preparación de comidas (*gari* [África], *farinha* [América del Sur]). Se destina igualmente a la preparación de harinas, de *chips* y de almidones brutos y transformados (tapiocas). (Producción mundial, 165 millones de toneladas: Nigeria, Brasil, Tailandia, Zaire, Indonesia, etc.). El tubérculo pelado, fresco, contiene 35% de almidón, 0,5-1,5% de proteínas, 0,3% de lípidos.

Determinados almidones de tubérculos forman parte de la formulación de harinas destinadas a la alimentación de niños pequeños: es el caso del *arrow root*, término que normalmente designa la harina obtenida a partir del tubérculo de *Maranta arundinacea* L. (Marantaceae) o *arrow root* de las Indias Occidentales o de San Vicente. El término se aplica también a los productos provenientes de *Canna edulis* Ker-Gawler (Cannaceae) o *arrow root* de Queensland. La bibliografía menciona igualmente al *arrow root* de Florida, comestible tras ebullición (*Zamia* spp., Cycadaceae) y el *arrow root* de Tahití (tubérculo de *Tacca leontopetaloides* [L.] Kuntze, Taccaceae). El *arrow root* de la India es la *Curcuma angustifolia* Roxb. y el *arrow root* de Brasil (*Ipomoea batatas* [L.] Lam., Convolvulaceae) es la batata, ampliamente consumida en China, este país asegura más del 90% de la producción mundial, es decir 120 millones de toneladas.

● En ciertos casos no son los tubérculos sino los rizomas los que se utilizan por su valor alimenticio: los «taros», especialmente ricos en almidón, son los rizomas de diversas Araceae tropicales pertenecientes a los géneros *Colocasia* (*C. esculenta* [L.]

* Estos datos (1997) son los de la FAO (<http://www.fao.org/>). Estadísticas (en francés): <http://apps.fao.org/lim500/nph-wrap.pl?Production.Crops.Primary&Domain=SU&Language=francais>

Schott = taro), *Xanthosoma* (*X. sagittifolium* [L.] Schott = tannia), *Cyrtosperma*, *Alocasia* y *Amorphophallus*. Representan una parte importante de la alimentación humana de las islas y del entorno del Océano Pacífico (producción mundial = 6,5 millones de toneladas: Nigeria, Ghana, China, etc.). Los glúcidos de estos rizomas –su contenido varía entre 15 y 30% del tubérculo fresco– se encuentran constituidos por un 80% de almidón. Es necesaria una cocción previa dada la presencia de rafidios de oxalato cálcico y/o de proteínas tóxicas.

Almidones de semillas

Se trata esencialmente de semillas de Fabaceae comúnmente denominadas leguminosas o legumbres secas: guisantes (*Pisum sativum* L.), garbanzos (*Cicer arietinum* L.), habas (*Vicia faba* L.), lentejas (*Lens culinaris* Medikus), judías* (*Phaseolus vulgaris* L., *P. acutifolius* A.Gray, *P. coccineus* L., *P. lunatus* L.), guisante de Angola (= *Cajanus cajan* [L.] Millsp.), etc. Estas especies, especies próximas y sus numerosas variedades se cultivan en el mundo entero. En estas semillas, el almidón representa del 45 al 70% de la materia seca de la harina total. Este almidón, generalmente rico en amilosa (25 al 45%), no es el único azúcar de estas semillas: contienen generalmente oligosacáridos no digeribles por el hombre y cuya degradación por las bacterias cólicas es en parte el origen de las flatulencias frecuentemente asociadas al consumo de legumbres secas.

Características y ensayo de los almidones oficiales

Características. La 3.^a edición de la Farmacopea europea dedica cuatro monografías a los almidones más frecuentemente utilizados en farmacotecnia: almidón de trigo, almidón de maíz, almidón de patata, almidón de arroz. Describe asimismo los carboximetilalmidones sódicos (tipos A y B, i.e. sales sódicas de almidón de patata reticulado parcialmente O-carboximetilado). Por su parte, la 10.^a edición de la

* Muchas de las leguminosas designadas por el vocablo de judías (en español es sinónimo también, habichuela, alubia o frijol) no pertenecen al género *Phaseolus*. Citaremos a título de ejemplo, la judía mung que procede de *Vigna radiata* (L.) Wilczek, la judía adzuki (*V. angularis* [Willd.] Ohwi & Ohashi) o también la judía jacinto, semilla de *Lablab purpureus* (L.) Sweet. La misma confusión reina en los guisantes que con frecuencia son proporcionados por especies que no pertenecen al género *Pisum*, ni al género *Cicer*: el garbanzo negro es una *Vigna* (*V. mungo* [L.] Hepper), el guisante caffè –igualmente denominado judía njugo o voandzou– es la *Voandzea subterranea* Thouars (= *Vigna subterranea* [L.] Verdc.) y el guisante de Tahití (conocido por los biólogos con el nombre de haba Jack) es la semilla de *Canavalia ensiformis* (L.) DC. Esta serie interminable de ejemplos demuestra, si fuera necesario, la utilidad de la nomenclatura binominal latina.

Farmacopea francesa describe los almidones de trigo y de maíz «para premezclas medicamentosas».

Los almidones son polvos muy finos, blancos (aunque el almidón de maíz puede ser ligeramente amarillento), insolubles en agua, rechinan bajo la presión de los dedos. Su diferenciación se realiza por un cuidadoso examen microscópico: granos de tamaño variable (2-45 μm) con hilo y estrías muy poco visibles en el almidón de trigo; granos angulosos (2-23 μm) o redondeados (25-32 μm) con hilo central y sin estrías concéntricas del almidón de maíz; grandes granos ovoideos (30-100 μm) con hilo excéntrico y estrías concéntricas del almidón de patata; pequeños granos poliédricos (2-5 μm , frecuentemente asociados) con hilo central y sin estrías del almidón de arroz. A la luz polarizada todos los almidones presentan una cruz negra centrada sobre el hilo.

Ensayo. Los almidones se identifican por su capacidad para formar engrudo y por colorearse de azul en presencia de yodo, deben satisfacer diversos ensayos: acidez; contenido en elementos extraños (*i.e.* de fragmentos de membranas celulares o de protoplasma): trazas o, < 0,1% en los almidones para premezclas; pérdida por desecación (< 15%; patata, < 20%); cenizas sulfúricas (< 0,6%; arroz, < 1,0%; patata, < 0,6%). Los almidones para premezclas deben además ser de una determinada granulometría (menos del 5% de residuo sobre un tamiz de 250). Los almidones se pueden transformar en almidón pregelatinizado (Ph. eur., 3.^a ed., add. 1998).

B. Obtención del almidón

El almidón se extrae, sobre todo, del grano de maíz y de los tubérculos de patata y, en menor medida, del trigo y de la mandioca.

El almidón de maíz se prepara de la forma siguiente (vía húmeda): después de eliminar las impurezas (raspajos, residuos diversos) por cribado y ventilación, los granos se ablandan mediante remojo de 30 a 48 horas en agua a 50°C a la que se añade dióxido de azufre. El agua de remojo, cargada de proteínas, azúcares solubles, ácido láctico, vitaminas y elementos minerales, se recupera: servirá de elemento básico en la composición de medios de cultivo destinados a fermentaciones industriales como, por ejemplo, la producción de antibióticos por microorganismos (*corn steep liquor*). El excedente, mezclado con los residuos, se destina al mercado de alimentos para el ganado (*corn gluten feed*).

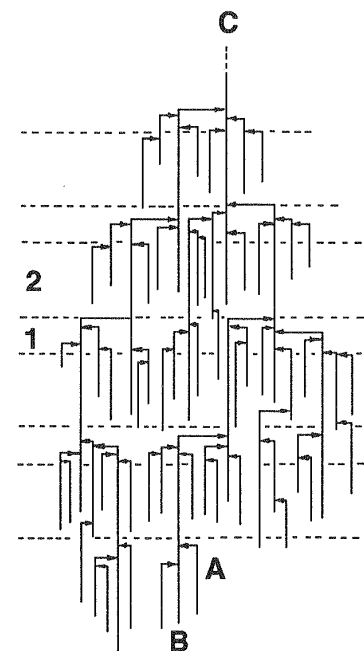
Una trituración grosera en medio acuoso de los granos ablandados permite eliminar, por diferencia de densidad, el germen, fuente de un aceite con cierto interés dietético. La mezcla pastosa residual, constituida por fragmentos de granos desgerminados, se reduce a polvo fino y después de tamización y centrifugación permite separar las proteínas (gluten del maíz) y el almidón.

En este estadio, el almidón se encuentra en forma de leche. La mala conservación de esta forma y el costo de su transporte explican que la mayor parte de la producción se transforme inmediatamente, en el mismo lugar, y el resto se deseque. Un quintal de maíz produce alrededor de 63 kg de almidón.

C. Estructura y composición: amilosa y amilopectina

Al estado natural, el almidón (sería más correcto hablar de almidones, ya que la composición varía algo según su origen botánico) se encuentra bajo la forma de una estructura lentamente organizada por una biosíntesis orientada: el grano. Su semicristalinidad se atestigua por la aparición, a la luz polarizada, de una cruz negra de birrefringencia. La forma del grano, su tamaño y el emplazamiento del hilo varían según la especie de que se trate y, por este hecho, son frecuentemente elementos preciosos para la identificación microscópica de las muestras (ver anteriormente). Los granos de almidón se corresponden con un homopolímero casi puro de D-glucosa: 98-99%. Los demás constituyentes son lipídicos (0,1-0,7% según el origen botánico), proteicos (0,05-0,5%) y minerales (el contenido en cenizas varía del 0,05 al 0,3%).

La fracción glucídica es una mezcla de dos polímeros: amilosa, esencialmente lineal y amilopectina, molécula ramificada. Los almidones se diferencian claramente por sus contenidos respectivos en amilosa: 16-17% en el arroz, 20% en la patata, 23-24% en la cebada, 25-28% en el trigo, hasta el 35% en los guisantes lisos, excepcionalmente el 65-70% en los amilomaíces o, por el contrario, menos del 1% en los maíces céreos o *waxy mais*.



Estructura de la amilopectina

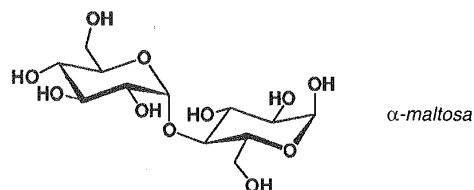
Modelo propuesto por Robin *et al.*
Las líneas punteadas delimitan las zonas ramificadas amorfas (1) y las zonas potencialmente cristalinas (2).

Robin, J.-P., Mercier, C., Charbonnière, R. y Guilbot, A. (1974). Lintnerized Starches. Gel Filtration and Enzymatic Studies of Insoluble Residues from Prolonged Acid Treatment of Potato Starch, *Cereal. Chem.*, **51**, 389-406.

La **amilosa** está constituida por unidades de D-glucosa en su conformación 4C_1 (la más estable) unida casi exclusivamente por enlaces α -(1 \rightarrow 4). Se observa la existencia

de cadenas cortas en ramificaciones α -(1 \rightarrow 6). El GP medio varía según el origen botánico y la forma de preparación de 500 a 6.000.

La *amilopectina*, constituyente mayoritario de los almidones, es uno de los mayores polisacáridos conocidos, su masa molecular puede llegar, en ciertos cultivos, de 10^7 a 10^8 . Su estructura está ramificada en racimos: de cadenas lineales α -(1 \rightarrow 4) desde 15 a más de 60 unidades, repartidas según una distribución trimodal, siendo enlazadas unas con otras por uniones α -(1 \rightarrow 6) que representan alrededor del 5-6% del conjunto de uniones.



Se han propuesto diversos modelos estructurales: el más clásico [esquema] está constituido por tres tipos de cadenas: las cadenas A no están ramificadas y están unidas por su extremidad reductora a las cadenas B. Las cadenas B están sustituidas en uno o en varios de sus hidroxilos en C-6 por cadenas A y religadas por su extremidad reductora a una cadena C. Esta cadena C es la única que posee una extremidad reductora libre. Las zonas de ramificación son amorfas mientras que las zonas correspondientes a las cortas cadenas lineales son cristalinas (tienen la posibilidad de formar una estructura helicoidal). La proporción relativa de cadenas cortas y largas así como el número medio de racimos que lleva la cadena larga varían en función del origen del almidón (tubérculos, cereales). En ciertos almidones (guisantes rugosos, determinados genotipos de la cebada y ciertos maíces ricos en amilosa) se observa la presencia de una cantidad notable de una glucana de estructura intermedia entre la amilosa y la amilopectina.

D. Propiedades del almidón

La amilosa puede, por el hecho de su carácter esencialmente lineal y por la homogeneidad de las uniones interesídicas, tomar una conformación helicoidal y formar complejos con moléculas hidrófobas como el yodo y los ácidos grasos, pero también alcoholes, lípidos y emulsificantes. La reacción de la amilosa con el yodo es la base de la caracterización analítica del almidón. La formación de complejos por inserción de alcoholes alifáticos en la cavidad helicoidal hidrófoba de la molécula de amilosa puede, bajo ciertas condiciones, permitir el fraccionamiento de la amilosa y de la amilopectina*.

* Esta misma propiedad es la que se aprovecha para retrasar el enranciamiento de los panes: la molécula incluida es, en este caso, un monoglicérido de ácido graso, pero el mecanismo de este efecto permanece sin aclarar.

La amilopectina es responsable de la estructura cristalina del almidón, que varía según su origen (almidón de cereales de tipo A, almidón de tubérculos y almidones retrógrados de tipo B) y depende especialmente del modo de apilamiento de las dobles hélices (simetría hexagonal o monoclinica) y del grado de hidratación.

Comportamiento del almidón en presencia de agua. Los granos de almidón no son hidrosolubles a temperatura ambiente, pero retienen una gran cantidad de agua. Hacia los 55-60°C, los granos se hinchan irreversiblemente, la estructura granular se destruye y desaparece la cristalinidad: se produce gelatinización. Si se calienta más (hasta los 100°C) las moléculas de amilosa difunden en el medio: es la solubilización, el almidonado, la formación de un sistema compuesto de granos de almidón hinchados («fantasmas») dentro de una matriz de macromoléculas amilósicas solubilizadas. Por enfriamiento, las macromoléculas se reorganizan y se forma un gel: es el fenómeno de retrogradación que, a veces se acompaña de sinéresis. La cinética de retrogradación del almidón se puede modificar por asociaciones diversas (otros polisacáridos, lípidos).

E. Almidones modificados

Con el fin de modificar las propiedades reológicas de los geles y de ese modo ampliar las posibilidades de empleo del almidón, se puede modificar su estructura inicial de diversas maneras:

1. Haciendo variar las proporciones respectivas de amilopectina y de amilosa: esencialmente es un trabajo de selección varietal;
2. Por tratamiento físico: almidones pregelatinizados (cocción previa y deshidratación), extrusionados o compactados;
3. Por modificación química, sirviéndose de la reactividad de las funciones alcohólicas secundarias y primarias:
 - oxidación con hipoclorito sódico,
 - esterificación con anhídrido acético (acetatos de almidón), con ácidos fosfóricos (fosfatos de almidón),
 - eterificación: obtención de hidroxialquilalmidones (almidones no iónicos), de carboximetilalmidón (aniónico) y «cationización» por introducción de aminas terciarias o de amonios cuaternarios,
 - hidrogenación, se aplica de hecho a los oligosacáridos procedentes de la despolimerización (ver polioles);
4. Por reticulación. El almidón se trata con epíclorhidrina, formol, oxícloruro de fósforo o anhídridos de ácidos, a una temperatura inferior a la de gelatinización, lo que induce la formación de un pequeño porcentaje de puentes intramoleculares. La reticulación disminuye el hinchamiento, aumenta la resistencia al cizallamiento y permite la esterilización;

5. Por despolimerización controlada. La hidrólisis parcial del almidón, que se puede obtener en medio ácido, se realiza en la actualidad frecuentemente por vía enzimática. Para ello se recurre a enzimas desramificantes (del tipo pululanasa o isoamilasa) que rompen las uniones α -(1 \rightarrow 6), a amilasas (α -amilasa que produce oligosacáridos o β -amilasa que induce una hidrólisis recurrente a partir de la extremidad no reductora de las cadenas lineales y producirá maltosa) y amiloglucosidasas, exoenzimas hidrolizantes que hidrolizan de forma repetitiva tanto las uniones 1 \rightarrow 4 como las 1 \rightarrow 6 y que producen glucosa. El campo de aplicación de estas técnicas enzimáticas es la producción de malto-dextrinas (dextrinización), de jarabe de glucosa y de hidrolizados (sacarificación de malto-dextrinas) y la de fructosa (isomerización).

F. Empleos de los almidones

El principal uso de los almidones y de sus derivados en farmacia es el de ser coadyuvantes en la formulación de comprimidos: diluyentes, ligantes (engrudo), desintegrantes, antigremos. El almidón es también una base de reacciones para la obtención de dextrinas y ciclodextrinas, polioles, gluconatos y de forma más general, de productos bio-industriales (fermentación, producción de goma xantán).

Junto a los múltiples empleos en la industria agroalimentaria, se conocen de los almidones innumerables aplicaciones en otros sectores: para la obtención de papel (se consume casi la mitad del almidón «no alimentario»), industria textil, engrudos y adhesivos, tratamiento de las aguas y de los minerales, piensos.

2. CELULOSA

A. Fuentes y estructura

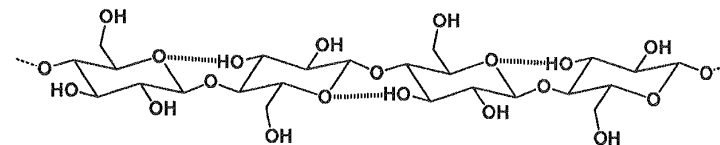
La celulosa es sin duda el biopolímero más universal. Raro en los Procariotas, se encuentra en numerosas Talofitas clorofíticas (Algas) o no (Micofitos), se deposita en microfibrillas en las paredes celulares de todos los Cormófitos.

Constituyente de la madera, se encuentra mayoritariamente en numerosas plantas con fibras textiles: lino, cáñamo, yute, ramio y, casi pura, en los pelos que recubren las semillas del algodón. El *Acetobacter xylinum* es una de las pocas bacterias capaz de sintetizarla y podría, con el desarrollo de la biotecnología, constituir una fuente de celulosa microfibrilar pura.

La celulosa que se utiliza en la actualidad proviene de la designación de la madera en medio ácido o alcalino (industria papelera) y de los *linters* de algodón (industria química); se pueden también utilizar los productos de degradación de las pajas. La fibra del algodón se utiliza directamente por la industria textil. Actualmente se están desarrollando otros procedimientos piloto que permitan recuperar la celulosa y los demás constituyentes de la madera (hemicelulosas, ligninas). Esto ocurre con la extracción en caliente con metanol, seguida de un tratamiento con sosa metanólica; o

con «la explosión» de la madera, tratamiento muy breve por vapor de agua a 200-250°C bajo una presión de 35-40 bar seguida de un brusco retorno a la presión normal. Este procedimiento conduce a la obtención de una celulosa de GP controlado, de mono- y oligosacáridos, de fenoles solubles y de lignina.

Estructura. La celulosa es un polímero lineal, constituido por unidades de D-glucosa unidas en β -(1 \rightarrow 4). Las moléculas de D-glucopiranososa se encuentran en forma de silla de conformación 4C_1 ; los hidroxilos del ciclo, el hidroximetilo y la unión osídica están en posición ecuatorial. Todos los hidrógenos son axiales. La naturaleza β de la unión entraña la rotación de 180° de una unidad de cada dos (el motivo básico es la celobiosa) y confiere a la molécula una estructura en forma de cinta consolidada por enlaces de hidrógeno intramoleculares, en particular entre el hidroxilo que lleva el C-3 y el átomo de oxígeno intracéflico de la unidad vecina. Las uniones hidrógeno intermoleculares asocian las cadenas en microfibrillas cuya cristalinidad se observa bien por espectrometría de difracción de rayos X (que revela al mismo tiempo la existencia de regiones amorfas). El grado de polimerización varía de 300 a 15.000 (teniendo una masa molecular de 5×10^4 a $2,5 \times 10^6$) según el origen botánico, la edad del tejido, el procedimiento de obtención. En las paredes secundarias de los vegetales superiores, el GP es de 6 a 10.000; en las cápsulas de algodón no abiertas puede llegar a 15.000.



B. Algodoneros y algodones: *Gossypium* spp., Malvaceae

Las farmacopeas europea[‡] (3.^a ed.) y francesa[†] (10.^a ed.) dedican diversas monografías al algodón, a la celulosa y a sus derivados: algodones (cardado crudo[†], hidrófilo[‡] e hidrófilo superior[†], normales o estériles), celulosa polvo[‡] y celulosa microcristalina[‡], guata de celulosa en borra[†], en hoja[†] o bien quirúrgica[†], guata de viscosa hidrófila[‡] e hidrófoba[†], acetato y acetofalato de celulosa[‡], carboximetilcelulosa (= carmelosa sódica[‡]), hidroxietilcelulosa[‡], hidroxipropilmetilcelulosa = (hipromelosa[‡]), metilcelulosa[‡].

Los algodoneros, plantas muy cultivadas y de importancia económica considerable y el algodón, han sido objeto de numerosas obras y publicaciones y continúan suscitando múltiples trabajos. Únicamente se reseñarán algunos datos concretos ya que al menos en términos terapéuticos, la importancia del algodón en farmacia es muy relativa.

Los algodoneros. Las diferentes razas y variedades del algodonero cultivadas en la actualidad, se reparten en cuatro especies: dos diploides asiáticas con fibras gruesas



Gossypium herbaceum L.

y cortas (*G. arboreum* L., *G. herbaceum* L.) y dos tetraploides (anfidiplóides) americanas: *G. hirsutum* L. con fibras intermedias y *G. barbadense* L. con fibras largas. Los algodoneros son arbustos o arbolillos perennes con hojas de tetra- a heptalobuladas, más o menos escotadas. Las flores, acompañadas de tres largas brácteas dentadas, poseen una corola de blanco-crema a amarillo que enrojece rápidamente después de la floración, marcada –salvo en *G. hirsutum*– con una mancha roja en la base de los pétalos. Los numerosos estambres se encuentran soldados por sus filamentos en una columna estaminal. El fruto es una cápsula esférica, ovoide o piriforme (4-8 × 3-4 cm), con 3-5 cavidades multi-ovuladas. Las semillas (6-12 por cavidad) llevan largos pelos o fibras.

Las fibras. Las fibras nacen en la superficie de la semilla y pueden ir acompañadas por una pelusa de pelos cortos, el *linter*: se habla entonces de semillas vestidas; en el caso de que el *linter* falte, se habla de semillas desnudas. Las fibras tienen una coloración blanca, crema, castaño claro, a veces verdosa. Originarias de una célula epidérmica, son monocelulares. Muy alargadas (la longitud viene influida por las condiciones hídricas, varía de 15 a 40 mm para un diámetro, genéticamente determinado, de 12-25 μ m), tienen una pared fina recubierta de una cutícula cerosa y están replegadas varias veces en el interior del volumen carpelar. Durante la maduración el pelo se engrosa por superposición, sobre la cara interna de su pared, de sucesivas capas de celulosa. En la madurez, el protoplasma central se vacía y da lugar a un lumen; la fibra se riza y es lo que determina sus cualidades textiles.

Químicamente, la fibra está compuesta por celulosa (95 \pm 4%), proteínas (1,6 \pm 0,3%), ceras (0,9 \pm 0,3%) y pectinas. La celulosa representa de un 23 a un 37% de la semilla entera desecada. Esta contiene además de un 19 a un 25% de proteínas, del 10 al 28% de lípidos y hasta un 1% de gósipol, un sesquiterpeno tóxico para la mayoría de las especies animales.

Tratamiento de las semillas. Después de un primer desecado, natural o mediante corriente de aire caliente, la semilla de algodón se limpia, desbroza de restos de la cápsula y se desgrana mecánicamente. Las fibras a continuación se seleccionan en función de su calidad comercial. Si las semillas están vestidas se recupera el *linter* que se destina a usos diversos (mantas, fieltros) y a la industria química.

La siguiente etapa es la recuperación del aceite contenido en la semilla: una trituration laminada da lugar a los copos; la cocción controlada de éstos precipita las proteínas, elimina el gósipol y mejora la extracción posterior del aceite. Bien sea extraído por presión o disolventes, el aceite se desmucilagina, neutraliza, lava, decolora y desodoriza antes de ser destinado al consumo. Las tortas se utilizan en alimentación animal (los rumiantes destoxifican parcialmente el gósipol). Las harinas, con la condición de estar desprovistas de gósipol, y de no estar contaminadas por aflatoxinas pueden utilizarse para la alimentación humana y de los animales monogástricos.

Algodones officinales. Los algodones descritos en las farmacopeas tienen fibras de longitud igual o superior a 10 mm y deben satisfacer determinado número de ensayos: ausencia de fibras extrañas, pérdida por desecación, contenido de cenizas sulfúricas.

En el caso del algodón hidrófilo (algodón limpiado, blanqueado y cuidadosamente cardado), se verifica su neutralidad, la ausencia de materias colorantes compensadoras (sobre un percolado en etanol de 96°) y de sustancias tensoactivas; no debe contener más del 0,5% de sustancias solubles en agua o en dióxido de etilo. Se mide su poder de absorción mediante un estricto protocolo: debe alcanzar un mínimo de 23 g de agua por gramo de algodón.

El algodón cardado crudo debe de presentar un poder hidrófobo mínimo, un poder de absorción de agua bajo (menos del 20% de su masa). Se debe proceder además a determinar su contaminación microbiana (gérmenes aerobios viables totales, *Pseudomonas aeruginosa* y *Escherichia coli*).

Otros productos. La guata de celulosa quirúrgica está constituida por fibras aisladas no fasciculadas, extraídas industrialmente de la madera por desincrustación termoquímica seguida de blanqueamiento. Debe de satisfacer ensayos muy parecidos a los que se aplican en el algodón hidrófilo.

La celulosa en polvo tiene utilidad en farmacotecnia: como diluyente-aglutinante y desintegrante en la compresión, estabilizante de suspensiones.

C. Celulosa y derivados hemisintéticos

La celulosa es un polímero polihidroxilado que se puede esterificar y eterificar fácilmente.

La esterificación conduce a productos (nitrato, acetato de celulosa) de múltiples usos (fabricación de explosivos y plastificantes, películas, filtros, [filtros para cigarrillos], membranas para diálisis); el acetofalato forma películas gastrorresistentes. Igualmente se utiliza el ftalato de hidroxipropilmetilcelulosa (para microencapsulación y para obtención de microgránulos de liberación sostenida).

La eterificación conduce a polímeros hidrosolubles con numerosas aplicaciones tecnológicas: metil-, etil-, propil- y carboximetilcelulosa. Estas moléculas se obtienen por la acción de un halogenuro de alquilo sobre la celulosa previamente tratada por un agente alcalino. Se añade frecuentemente al medio óxido de etileno u óxido de propileno que conduce a éteres mixtos: metilhidroetil- y metilhidroxipropil celulosa.

En todos estos derivados la hidrosolubilidad depende del grado de sustitución de los hidroxilos del polímero original; la mayoría se disuelven en agua formando disoluciones muy viscosas, lo que lleva a su amplia utilización en el campo de la tecnología farmacéutica y de la cosmética como filmógenos, espesantes, estabilizantes, flexibilizantes, lubricantes: en comprimidos, geles, cremas, lociones, dentífricos, productos de maquillaje. Una elección acertada del polímero permite además al galénico proceder a recubrimientos específicos (gastrorresistentes, microgránulos de liberación sostenida) y a microencapsulaciones.

Carmelosa. Este éter iónico hidrosoluble, la carboximetilcelulosa, se prepara fácilmente por la acción del ácido monocloroacético sobre la celulosa alcalina en

2-propanol. Su grado de sustitución (GS) varía habitualmente de 0,5 a 1,2*. Pese a que tiene un cierto número de incompatibilidades (cationes trivalentes, antibióticos, alcaloides) es un auxiliar de fabricación en farmacotecnia: compresión directa y por vía húmeda, estabilizante de suspensiones. En algunos países constituye también un compuesto de regímenes hipocalóricos (quita-hambre).

Hipromelosa. La hidroxipropilcelulosa se utiliza, entre otras aplicaciones, en disolución en «contactología» para facilitar el uso de lentillas corneanas (nunca en lentillas hidrófilas), de las lentes de contacto, de prótesis oculares. Se dispone igualmente de pequeños bastones para introducirlos en el canal conjuntival inferior con el fin de estabilizar la película lacrimal (en formas severas del síndrome del ojo seco). La metilcelulosa se emplea igualmente en colirios con indicaciones parecidas y para proteger el epitelio corneano en el transcurso de exploraciones funcionales oculares.

Otras plantas con fibras celulósicas

Se citarán aquí, sin desarrollar su estudio, algunas plantas tradicionalmente utilizadas por sus fibras:

1. Los ceпоqueros de Indonesia y Tailandia (*Ceiba pentandra* [L.] Gaertner) y queseros (*Bombax ceiba* L., Malvaceae). Los pelos del endocarpio de la cápsula, muy ricos en celulosa, no están rizados y no pueden ser hilados. La cavidad central de las fibras se llena de aire lo que proporciona a este material gran flotabilidad (ej.: relleno de salvavidas);

2. El lino (estudiado además por su mucílago y su aceite). Las fibras se obtienen por fermentación y trituración de los tallos, su contenido en celulosa se aumenta por blanqueo. Las «fibras pericíclicas del tallo de *Linum usitatissimum* L.» sirven para la obtención del «hilo de lino estéril» (Ph, fsa, 10.ª edición);

3. El cáñamo, cuyas variedades «con fibras» se utilizan para la fabricación de papeles especiales (sobre todo el papel de cigarrillos y de infusiones), de productos no tejidos y de productos anejos (paneles para muebles, camas de paja para animales, aumentar el contenido en fibras, semillas para los pájaros);

4. El yute (*Corchorus capsularis* L., Tiliaceae), planta anual cultivada en la India, el ramio (*Boehmeria nivea* [L.] Gaudich., Urticaceae), el kenaf (*Hibiscus cannabinus* L., Malvaceae), el sisal (*Agave sisalana* Perrice, Agavaceae), el abaca (*Musa textilis* Née, Musaceae), el yute del Congo (*Urena lobata* L., Malvaceae), las *Triumfetta* africanas (Tiliaceae), etc.

La distinción de todas estas fibras naturales se efectúa por un cuidadoso examen microscópico: morfología de las paredes y extremos, tamaño y forma de la sección y por ensayos químicos sencillos.

* En el caso concreto de los ésteres de la celulosa, el GS varía de 0 a 3: existen tres hidroxilos sustituibles (en C-2, C-3 y C-6).

3. FIBRAS ALIMENTICIAS

A. Definición

La expresión «fibras alimenticias» universalmente adoptada por especialistas en nutrición y por dietéticos es difícil de definir porque representa más un concepto nutricional y fisiológico que una categoría definida de sustancias químicas.

La noción de fibra, en principio aplicada a la celulosa, se convierte posteriormente en la de fibra bruta (es decir residuo vegetal que resiste a los tratamientos químicos ácidos y alcalinos diluidos) ha evolucionado hacia el concepto, más fisiológico, de fibra alimenticia, término inicialmente empleado para designar «los residuos vegetales resistentes a la digestión por los enzimas del tracto digestivo del hombre» lo que incluye tanto a las macromoléculas de las paredes celulares de vegetales como a ciertos polisacáridos intracelulares. Tal definición *fisiológica* explica bien la noción de fibras pero no permite describirlas. Para hacerlo es necesario tener en cuenta criterios químicos y considerar que las fibras alimenticias están constituidas por «el conjunto de la lignina y de los polisacáridos vegetales diferentes de las α -glucanas». Ciertos autores –y ciertos organismos oficiales– reducen las fibras alimenticias únicamente a los polisacáridos no amiláceos. Para otros, esta definición parece demasiado restrictiva: excluye el papel de las ligninas así como el de la fracción «resistente» de los almidones (de 5 a 20 g de almidón intacto alcanzan diariamente el intestino grueso).

En la actualidad existe la tendencia de clasificar las fibras alimenticias en función de su hidrosolubilidad: fibras insolubles (*e.g.* celulosa) y fibras solubles. La noción de fibra soluble abarca polisacáridos complejos como las pectinas (glucanogalacturonanas) y otros hidrocoloides susceptibles de formar disoluciones viscosas o geles (galactomananas de la goma guar, heteroxilanas de los plantagos, etc.).

El aporte en fibras en un régimen normal, proviene mayoritariamente de las paredes celulares de los vegetales que constituyen nuestra alimentación: frutos, legumbres, semillas diversas y productos de cereales; algunos polímeros no parietales (gomas, mucílagos) y ciertos aditivos alimenticios (polisacáridos que confieren textura) participan igualmente de este aporte en fibras. En el plano estrictamente fisiológico, es conveniente tener en cuenta productos como los almidones resistentes (fracciones de almidón nativo, almidón modificado por tratamientos térmicos), productos inducidos por la cocción (reacción de Maillard) y ciertos oligosacáridos.

B. Principales constituyentes de las fibras alimenticias de origen parietal

(a) – *polisacáridos*. Se distinguen diversos tipos:

- celulosa: es un elemento estructural básico. Forma las microfibrillas que se reúnen en fibras de estructura cristalina variable (débil en las paredes primarias, fuerte en las paredes secundarias). La celulosa es totalmente insoluble en agua;
- pectinas: son sobre todo abundantes en los frutos de las Dicotiledóneas y características del espacio intercelular, son poligalacturonanas muy hidrófilas que constitu-

yen en parte la matriz en la que se incluyen las fibras de celulosa de la pared (sobre la estructura y propiedades de las pectinas, ver pág. 118);

– hemicelulosas: este término más bien vago se aplica (para simplificar) a los polisacáridos parietales no celulósicos ni pécticos. Son polisacáridos extraíbles por disoluciones alcalinas diluidas, son polímeros mixtos de osas neutras y ácidas, homo- o heteropolisacáridos, cuya estructura varía en función de múltiples factores (especie vegetal, grado de secundarización de la pared): xiloglucanas (sobre todo en Dicotiledóneas), xilanas, glucuronoxilanas, arabinoxilanas, glucuronoarabinoxilanas (constituyentes principales de las paredes de Monocotiledóneas, conocidas bajo el nombre de pentosanas), β -glucanas no celulósicas de ciertos cereales, etc.

(b) – *lignina*. En general es poco abundante en los tejidos vegetales ingeridos por el hombre (legumbres, frutos), es un heteropolímero tridimensional formado por unidades fenilpropánicas. Muy hidrófoba, se incrusta progresivamente en las paredes secundarizadas confiriendo rigidez, impermeabilidad y resistencia a los vegetales.

(c) – *otros elementos*. La pared celular primaria contiene pequeñas cantidades de glicoproteínas, sobre todo glicoproteínas ricas en hidroxiprolina, las extensinas; contienen igualmente elementos minerales*.

C. Fuentes de fibras alimenticias

Observación: se consideran únicamente las fibras parietales *stricto sensu*; las galactomananas y las pectinas serán objeto de un tratamiento separado.

La mayor parte de los frutos frescos (manzana, naranja, albaricoque, ciruela, piña, [citadas en orden decreciente de riqueza en fibras totales, *i.e.* de 30 a 18%]) y hortalizas (coliflor, zanahoria, lechuga, cebolla, tomate [de 12 a 9% de fibras totales]) así como algunas legumbres secas (judías, guisantes, 20% de fibras totales) aseguran un aporte no despreciable en fibra. En la práctica, se recurre sobre todo a productos como el salvado de trigo para suplementar la dieta alimenticia en fibras (> 40%, sobre todo de fibras insolubles). Se puede utilizar asimismo derivados de la avena.

Salvado de trigo. El salvado de trigo representa alrededor del 18% de la masa del cariósido. Se presenta en forma de partículas de tamaño variable (salvados gruesos, tamaño medio: 1 mm; salvados finos, tamaño medio: 0,5 mm). El salvado comprende las envolturas del fruto y la fracción de la almendra que la molinería no llega a desprender. Es rico en sales minerales (K, P –en forma de fitato–, Mg, etc.) y en fibras (45% de media), también contiene proteínas (17%), almidón (15-20%) y azúcares (7-8%); por tanto no carece de aporte calórico.

* Sobre la estructura y las funciones de la pared celular se puede ver: Bacic, A., Harris, P. J. y Stone, B. A. (1988). Structure and Function of Plant Cell Walls, in «The Biochemistry of Plants, vol 14: Carbohydrates», (Preiss, J.,éd.), p. 297-371, Academic Press, San Diego.

D. Efectos biológicos de las fibras alimenticias

La composición de las fibras es variable, no todas tienen el mismo valor biológico y es muy difícil establecer una relación precisa entre la composición de las fibras y las propiedades biológicas que se les atribuye. Los posibles efectos fisiológicos dependen en gran parte de la naturaleza de las fibras, de su granulometría, de su porosidad, de su *solubilidad*: la riqueza relativa en fibras solubles o insolubles en agua condiciona en gran parte los efectos fisiológicos*. La reactividad del polímero respecto a otras moléculas presentes en el tubo digestivo (adsorción, capacidad de intercambio iónico) igualmente depende en gran manera de su estructura. Es más, los tratamientos sufridos por las fibras durante la preparación industrial o doméstica de los alimentos modifica sus propiedades físico-químicas y por consiguiente sus efectos fisiológicos. Por lo tanto se impone cierta prudencia antes de generalizar algunos de los efectos observados, sobre todo si estos no han sido validados en un gran número de sujetos y durante un periodo de tiempo suficiente.

Se pueden distinguir tres grupos de efectos de las fibras alimenticias: la acción sobre el tránsito intestinal, la posible sobre la protección de cánceres colorrectales y las acciones metabólicas.

• Acción sobre el tránsito intestinal

El efecto es doble. Posee en primer lugar un efecto sobre la masa de las heces que aumenta en proporciones generalmente importantes (127% después de la ingestión de 20 g de salvado de trigo). Esta acción la efectúan sobre todo las fibras insolubles y parece debida, entre otras, a la capacidad de retención de agua por la fracción no degradada de fibras en el colon y por el tamaño de las fibras. El aumento de la población bacteriana participa igualmente en el incremento del volumen fecal. El otro efecto de las fibras alimenticias se relaciona con la duración del tránsito intestinal que se normaliza alrededor de las 48 horas: reducción de tránsitos largos, alargamiento de tránsitos cortos. Esta actividad es debida igualmente a las fibras insolubles (salvado, celulosa). Se sabe en la actualidad que este efecto de volumen está sin duda reforzado por la acción de los ácidos alifáticos de cadena corta formados durante la degradación bacteriana de la parte hidrosoluble de las fibras (propionato, butirato, etc.): dichos ácidos provocan contracciones fásicas del ileon e inhiben las contracciones cólicas no propulsivas.

Estudios epidemiológicos sobre poblaciones o grupos socioeconómicos que tienen hábitos alimenticios diferentes, así como trabajos experimentales, ponen claramente en evidencia la responsabilidad de los regímenes pobres en fibras en la frecuencia del

* Las fibras de los cereales esencialmente no hidrosolubles, se hinchan y absorben varias veces su masa de agua mientras que las pectinas o las galactomananas pueden formar geles o disoluciones espesas.

estreñimiento. Otros estudios señalan igualmente el probable papel de las fibras en la prevención de la diverticulosis cólica.

• Posible prevención del cáncer colorrectal

En 1971 Burkitt asoció la escasa frecuencia de cáncer colorrectal observada en africanos con el consumo por parte de éstos de productos vegetales completos, especialmente de fibras. Más tarde, algunas decenas de estudios testimoniales y un pequeño número de estudios en serie han sugerido, en su gran mayoría, la existencia de una posible correlación entre un régimen rico en fibras y pobre en proteínas y lípidos animales y una menor incidencia de dicho cáncer. Sobre esta base la hipótesis no es unánime, al menos drásticamente formulada: algunos autores subrayan el carácter a veces contradictorio de los resultados obtenidos en las experiencias realizadas en animales y en los datos epidemiológicos (alguno de los cuales pueden considerarse sesgados). Algunos autores ponen de manifiesto el hecho de que numerosas encuestas podrían ser más válidas si se tuviera en cuenta el conjunto de valores nutricionales y no solamente las fibras: alimentación rica en vegetales (es decir, en fibras y en «micronutrientes», e.g. lignanos, compuestos azufrados) y más pobres en factores promotores (especialmente lípidos). Otros autores señalan –lo cual es lógico– que estas contradicciones pueden deberse a la heterogeneidad estructural de las «fibras». Los efectos protectores observados podrían deberse a las fibras insolubles de los cereales que ejercen efectos directos: adsorción de ácidos biliares (de los que se sospecha son promotores de la carcinogénesis cólica) y de cancerígenos hidrófobos –lo que se ha demostrado *in vitro* y, en algunos casos, en animales–, dilución de toxinas por aumento del volumen fecal, aceleración del tránsito. También se deben considerar los efectos indirectos: modificaciones en el metabolismo bacteriano, papel de los productos de degradación, sobre todo de ácidos que disminuyen el pH del colon (lo que insolubiliza a los ácidos biliares) y que ejercen una acción compleja sobre las células cólicas. Pese a las divergencias de interpretación y el carácter hipotético del mecanismo de acción, que abre un debate sobre el interés de un suplemento sistemático de fibras en la dieta, los expertos recomiendan que es conveniente fomentar una alimentación que comprenda una proporción mayor de legumbres, frutos y cereales ricos en fibras.

• Acciones metabólicas

Los trabajos publicados tratan fundamentalmente de las interacciones entre las fibras y las sales minerales, entre las fibras y la colesterolemia y entre las fibras y la glucemia*. La influencia de las fibras sobre la asimilación de los minerales es comple-

* Aunque las fibras disminuyen la digestibilidad de las proteínas, ello no tiene consecuencias importantes habida cuenta de la gran (demasiada) riqueza proteica de los regímenes alimenticios de nuestros países industrializados.

ja: por una parte los polisacáridos ácidos pueden retener cationes, por otra, productos como el salvado son ricos en sales minerales (pero son poco absorbibles –antes de la cocción– por el hecho de su combinación con el ácido fítico). Globalmente los especialistas estiman «poco verosímil que una alimentación rica en fibras produzca déficit de minerales».

El consumo diario de fibras solubles (entre 6 y 40 g de pectina, 100-150 g de alubias, 10-30 g de zaragatona o de guar) o insolubles (25-100 g de salvado) disminuye el colesterol (–10%) y el LDL-colesterol (–10 a –14% según la colesterolemia inicial): el análisis, publicado en 1994, de 77 estudios realizados con estos productos muestra que poseen casi siempre un efecto favorable sobre estas dos constantes (en un 88 y 84% de los estudios realizados respectivamente) y que esta acción es independiente de la disminución del aporte diario en grasas y colesterol alimenticios. Por el contrario no se ha observado una disminución marcada de la trigliceridemia y del HDL-colesterol. En animal, se ha demostrado que el efecto varía según la naturaleza de las fibras –es mínimo en el salvado, máximo en la zaragatona que es más eficaz que las gomas de avena y guar– y que se acompaña de un entecimiento en la aparición de lesiones ateromatosas. En el hombre, estudios epidemiológicos y ensayos clínicos ponen de manifiesto que el aporte regular de fibras ejerce un efecto positivo en la prevención de enfermedades coronarias.

¿Cómo actúan las fibras? La viscosidad de las fibras solubles actúa negativamente sobre el transporte y el metabolismo del colesterol: al formar un gel, las fibras tendrían un efecto secuestrador de diversas moléculas, especialmente esteroides y ácidos biliares*. Estos últimos, al estar menos disponibles, disminuyen la formación de las micelas necesarias para la absorción de los lípidos; por otra parte, al ser menos reabsorbidos, se sintetizan en mayor cantidad a partir del colesterol –consecuencia del retrocontrol–. También pueden intervenir otros mecanismos: así en el caso del salvado, se ha mencionado la inhibición de la lipasa pancreática. Igualmente se supone que existe una inhibición de la síntesis hepática de colesterol por ácidos grasos de cadena corta que se liberan por la degradación bacteriana de las fibras en el colon.

Igualmente, estudios epidemiológicos han demostrado que en países en desarrollo, donde el consumo de productos procedentes de cereales es elevado, disminuye en gran medida la prevalencia de la diabetes. Diversos estudios sobre diabéticos han confirmado que un suplemento en fibras solubles (de la goma guar o de pectinas) disminuye la velocidad de la absorción intestinal de glucosa. Aunque este efecto es claro después de una comida con glucosa y con una elevada dosis de fibras, los resultados producidos en estudios prolongados en el tiempo son contradictorios o de difícil interpretación. En el caso más favorable, el suplemento en fibras solubles posee un efecto muy limitado sobre la glucemia de los diabéticos (pero una alimentación rica en polisacáridos com-

* Se produce en este caso un mecanismo de la misma naturaleza que el mencionado para explicar el modo de acción de las resinas sintéticas básicas (colestiramina, DCI) que inhiben el ciclo entero-hepático de los ácidos biliares y aumentan su eliminación fecal.

plejos posee al menos la ventaja de disminuir el aporte energético realizado por los lípidos y las proteínas que pueden agravar los efectos secundarios del diabético). Como en el caso anterior, pueden proponerse varios mecanismos de acción para explicar la actividad sobre la reabsorción intestinal de la glucosa: consecuencia de la aceleración del tránsito, de una alteración de los movimientos de convección del agua y de la glucosa en el intestino, de una disminución de la absorción por la mucosa intestinal, de una mayor accesibilidad de la α -amilasa a su sustrato, de una variación de la actividad de los factores que regulan la actividad secretora y la motilidad, etc.

E. Ensayos: determinación de las fibras alimenticias

Se han propuesto numerosísimos métodos para determinar el contenido en fibras de un vegetal: métodos gravimétricos químicos que utilizan detergentes ácidos y neutros y que proporcionan un residuo de fibra cuya composición varía según el protocolo; métodos gravimétricos enzimáticos que dan un valor global, métodos directos, etc. El método oficial (para los productos del salvado) consiste en determinar la suma de las masas de fibras alimenticias solubles e insolubles. Su principio es el siguiente: la muestra a analizar se deslipida (éter dietílico) y el almidón, gelatinizado en autoclave, se hidroliza por incubación en presencia de amiloglucosidasa. Otro tratamiento enzimático (tripsina) elimina las proteínas. Se procede a continuación a la pesada del residuo seco (fibras insolubles) y del precipitado obtenido por adición de etanol al sobrenadante procedente de la acción de la amiloglucosidasa (fibras solubles). El resultado final tiene en cuenta los elementos minerales (calcinación) y las proteínas no hidrolizadas residuales.

F. Empleos de las fibras alimenticias

Formas de empleos. Las harinas de panadería son muy pobres en fibras, tanto más cuanto menor sea el nivel de cernido (o de extracción, i.e., la proporción de la almendra extraída). Existen sin embargo en el mercado harinas con gran tasa de extracción (pan integral) y harinas enriquecidas en salvado (pan con salvado).

Las formas más frecuentemente utilizadas en dietética son los productos de galletería enriquecidos en fibras (bizcochos, galletas). Se puede igualmente recurrir a formas galénicas, por ejemplo granulados, comprimidos, etc.

Indicaciones. La utilización principal es la normalización del tránsito intestinal; las fibras procedentes de cereales (salvado grueso), tienen un gran poder de absorción de agua y son poco fermentables, parecen en este caso preferibles a las fibras solubles que son en ocasiones fuente de flatulencias: 10-20 g/día en 2-3 tomas acompañadas de un aporte hídrico suficiente; el aumento de la dosis se hará preferiblemente de manera progresiva y el tratamiento, asociado a medidas higieno-dietéticas elementales. Se recomienda no utilizar estos productos en niños pequeños sin conocimiento médico.



Taraxacum officinale Weber

Los productos a base de fibras se utilizan igualmente en los regímenes de adelgazamiento: las fibras no participan en el aporte energético y, al diluir los nutrientes ingeridos, permiten obtener más rápidamente una sensación de saciedad.

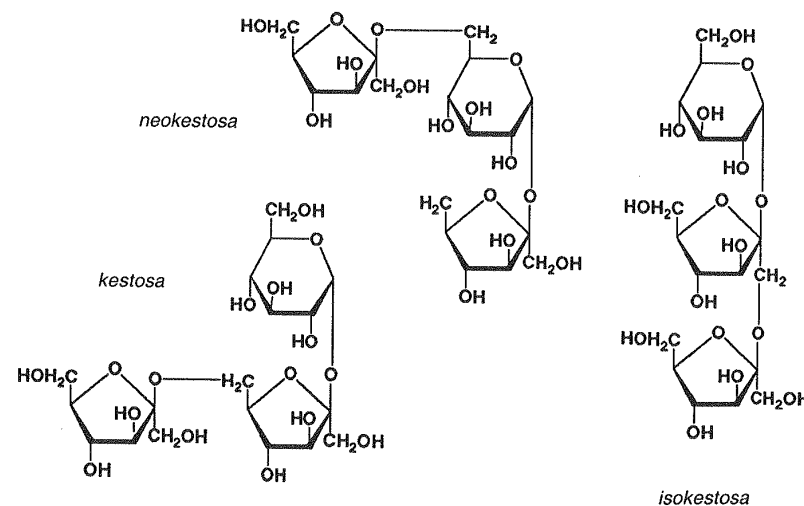
Las demás utilizaciones se relacionan con el establecimiento de regímenes, especialmente de los diabéticos: en este caso las fibras se asocian frecuentemente a un régimen hipocalórico en el que lo esencial del aporte energético está cubierto por polisacáridos del tipo almidón.

Más generalmente, las recomendaciones nutricionales actuales sugieren aumentar la proporción de alimentos ricos en fibras en nuestra alimentación: el aporte cotidiano en fibras es de 20-25 g en la mayoría de los países industrializados aunque parece deseable un aporte de 35 g.

4. FRUCTANAS

Las fructanas son polímeros de fructosa unidas por un enlace β -(2 \rightarrow 1) con una molécula de glucosa terminal: se puede considerar que son los homólogos superiores de la sacarosa. Como el almidón constituyen una forma de almacenamiento del carbono fijado en la fotosíntesis; se encuentra exclusivamente a nivel vacuolar.

Estos polímeros son bastante frecuentes en los vegetales, acumulándose sobre todo en una decena de familias: inulinas de Dicotiledóneas, principalmente de Asteraceae, Boraginaceae, y Campanulaceae, fleína y fructanas ramificadas de Monocotiledóneas, en particular de Poaceae y Liliaceae. Habitualmente se concentran en los órganos subterráneos (raíces, bulbos, tubérculos, rizomas) y su contenido, variable según la estación, puede ser importante (50% o más).



En las fructanas de tipo inulina (Asteraceae, Boraginaceae) la unidad básica es un motivo $\beta(2\rightarrow1)$ -D-fructofuranosílico (el primer término de la serie es el trisacárido isokestosa).

En las fructanas de tipo fleina (Poaceae), la unidad básica es un motivo $\beta(2\rightarrow6)$ -D-fructofuranosílico y el primer término de la serie es la kestosa. Las fructanas ramificadas (neokestosa y homólogos superiores sin glucosa en el extremo de la cadena) son más raras (por ejemplo en *Asparagus officinalis* L.).

Las fructanas, polímeros muy flexibles (poseen en efecto tres enlaces entre los ciclos: C-C-O-C en lugar de C-O-C que se encuentran en la mayoría de los polisacáridos), son levógiras y no reductoras, muy solubles en agua caliente y muy sensibles a la hidrólisis ácida. El grado de polimerización, frecuentemente bastante bajo (de 10 en el ajo y cebolla a 250 en algunas Poaceae), varía según la especie y estado fisiológico: las denominaciones específicas (inulina, triticina, asparragosana) no designan generalmente más que una mezcla de homólogos de GP diferentes en una serie determinada (kestosa, isokestosa).

La inulina (¡las inulinas!) inyectada por vía intravenosa no se metaboliza y no se fija a las proteínas plasmáticas. Se elimina por vía renal, no se excreta ni absorbe a nivel tubular, se filtra a nivel glomerular; aumenta la presión osmótica del líquido tubular. Puede ser interesante para la exploración de la función renal.

Administrada por vía oral, llega a nivel del colon sin ser absorbida ni degradada.

Drogas con inulina. Algunas drogas tradicionalmente utilizadas en medicina popular se caracterizan por su riqueza en inulina. Se presentan como diuréticas pero su actividad (que no siempre ha sido objeto de trabajos experimentales y menos de ensayos clínicos) no está claramente atribuida a tal o cual de sus constituyentes.

● ACHICORIA, *Cichorium intybus* L., Asteraceae

Se cultivan variedades mejoradas de esta especie con vistas a la producción de raíces, utilizadas, después de la torrefacción a 130-140°, como sucedáneo del café (peladuras, polvos instantáneos, extractos). Esta Asteraceae, frecuente en los bordes de los caminos y en los lugares incultos se identifica fácilmente por sus capítulos terminales y axilares de flores azules todas liguladas.

La raíz de achicoria es especialmente rica en inulina (50-60% de la droga seca). Debe su amargor a lactonas sesquiterpénicas. Tradicionalmente es utilizada por vía oral: 1° como colerético y colagogo; 2° para facilitar las funciones de eliminación renales y digestivas; 3° para favorecer la eliminación renal de agua; 4° como coadyuvante de regímenes de adelgazamiento; 5° en el tratamiento sintomático de trastornos digestivos como: hinchamiento epigástrico, digestiones lentas, eructos, flatulencias [Note Expl., 1998].

Desde septiembre de 1995, los fructo-oligosacáridos se pueden utilizar en Francia con el nombre de «fibras alimenticias». Estas fibras solubles se obtienen a partir de la achicoria y de la patata; otros fabricantes recurren a una síntesis enzimática a partir de sacarosa. En tecnología alimenticia, los derivados de la inulina son sustitutos de la sacarosa; con ellos se pueden obtener cremas en las que se reproduce la textura y la sensación al paladar de las grasas.

● DIENTE DE LEÓN, *Taraxacum officinale* Weber, Asteraceae

Caracteriza a esta planta herbácea, vivaz muy común en las praderas, en los jardines y sobre el borde de los caminos, el poseer una raíz robusta pivotante, hojas basales dispuestas en roseta y profundamente divididas en lóbulos desiguales triangulares, con capítulos solitarios de flores amarillas y aquenios coronados de finos penachos.

La raíz de diente de león es especialmente rica en potasio, fructosa e inulina: el contenido en fructosa es máximo en primavera, mientras que el contenido en inulina llega al 40% en otoño. El amargor de todas las partes de la planta se debe a lactonas sesquiterpénicas (eudesmanólidos y germacranólido: tetrahydro - ridentina, glucósidos del taraxacólido y del ácido taraxínico). La droga también contiene alcoholes triterpénicos pentacíclicos (taraxasterol, pseudotaraxasterol, sus acetatos y sus derivados hidroxilados [arnidiol, faradiol]) y esteroides. Las hojas contienen asimismo flavonoides.

Los datos farmacológicos sobre esta droga son casi inexistentes (diurética en ratas). En base a la tradición las raíces y las hojas se utilizan en Francia por vía oral [Note Expl., 1998] como colerética y colagoga y para favorecer la eliminación renal de agua; la raíz puede también reivindicar la siguiente indicación «tradicionalmente utilizada para facilitar las funciones de eliminación urinaria y digestiva». En Alemania, la Comisión E señala que la planta, colerética, diurética y estimulante del apetito se utiliza en casos de hinchamientos y flatulencias, de trastornos de la secreción biliar y de pérdida de apetito. En ausencia de consejo médico, se encuentra contraindicada en casos de litiasis.

Aparentemente desprovista de toxicidad, el diente de león puede inducir a veces dermatitis alérgicas (de contacto); es una reacción cruzada con otras Asteraceae con lactonas sesquiterpénicas

Drogas con fructanas diferentes de la inulina

Se puede citar aquí una Poaceae, la pequeña grama, *Elytrigia repens* (L.) Desv. Ex Nevski (= *Elymus repens* [L.] Gould (= *Agropyrum repens* [L.] P. Beauv.), cuyo rizoma desprovisto de las raíces adventicias (Ph. Eur., 3ª ed., add. 1999) puede reivindicar indicaciones (tradicionales) de la misma naturaleza que las drogas con inulina mencionadas anteriormente: favorecer la eliminación renal de agua; favorecer las funciones de eliminación urinaria y digestiva; como coadyuvante en regímenes de adelgazamiento [Note Expl., 1998].

Este rizoma contiene del 3 al 10% de fructanas. Los demás constituyentes conocidos son un mucílago, polioles y una pequeña cantidad de aceite esencial (0,2 ml/kg) y cumaratos de alcanoles. La droga se considera rica en sales minerales.

Se puede también citar el espárrago (*Asparagus officinalis* L., Liliaceae) inscrito en la Farmacopea francesa (10ª edición) y cuyas raíces y rizomas se consideran susceptibles de favorecer la eliminación renal de agua. Se conoce mal su composición: además de fructanas contiene saponósidos con genina esteroídica que en parte podrían justificar la mencionada actividad.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, J.W. (1995). Dietary Fibre, Complex Carbohydrate and Coronary Artery Disease, *Can. J Cardiol.*, **11**, suppl. G, 55G-62G.
- Demigné, C. et Rémésy, C. (1993). Le rôle des aliments végétaux riches en fibres dans la nutrition préventive, *Méd. Hyg.*, **51**, 2822-2832.
- Ferguson, L.R. et Harris, P.J. (1996). Studies on the Role of Specific Dietary Fibres in Protection against Colorectal Cancer, *Mutation Res.*, **350**, 173-184.
- Glore, S.R., van Treeck, D., Knehans, A.W. et Guild, M. (1994). Soluble Fiber and Serum Lipids: A Literature Review, *J. Am. Diet. Assoc.*, **94**, 425-436.
- Le Marchand, L., Hankin, J.H., Wilkens, L.R., Kolonel, L.N., Englyst, H.N. et Lyu, L.-C. (1997). Dietary Fiber and Colorectal Cancer Risk, *Epidemiology*, **8**, 658-665.
- Meflah, K., Cherbut, C., Riboli, E., Kaaks, R. et Corpet, D. (1996). Fibres alimentaires et cancer colorectal, in « Alimentation et cancer », (Riboli, E., Declôitre, F. et ColletRibbing, C., eds.), chap. **22**, p. 402-424, Tec & Doc - Lavoisier, Paris.
- Morrison, W.R. et Karkalas, J. (1990). Starch, in « Methods in Plant Biochemistry, vol. 2: Carbohydrates », (Dey, P.M., éd.), p. 323-352, Academic Press, Londres.
- Nagengast, F.M., van den Ban, G., Ploemen, J.P., Leenen, R., Zock, P.L., Katan, M.B., Hectors, M.P.C., de Haan, A.F.J. et van Tongeren, J.H.M. (1993). The Effect of a Natural High-fibre Diet on Faecal and Biliary Bile Acids, Faecal pH and Whole-gut Transit in Man. A Controlled Study, *Eur. J. Clin. Nutr.*, **47**, 631-639.
- Nuttall, F.Q. (1993). Dietary Fiber in the Management of Diabetes, *Diabetes*, **42**, 503-508.
- Onwuene, I.C. et Charles, W.B. (1994). Tropical Root and Tuber Crops - Production, perspectives and future prospects, FAO, Rome.
- Stahl, B., Linos, A., Karas, M., Hillenkamp, F. et Steup, M. (1997). Analysis of Fructans from Higher Plants by Matrix-assisted Laser Desorption/Ionization Mass Spectrometry, *Anal. Biochem.*, **246**, 195-204.
- Williams, C.L., éd. (1995). The Role of Dietary Fiber in Childhood, Proceedings of a Conférence Held on May 24, 1994 in New York, *Pediatrics*, **96**, suppl., 985-1027.

polisacáridos de vegetales superiores

Polisacáridos heterogéneos

1. Generalidades: gomas y mucílagos	90
2. Gomas (exudados)	90
goma de <i>Sterculia</i>	91
goma arábica	93
goma tragacanto	97
goma ghatti	99
3. Polisacáridos derivados de la manosa: «mucílagos neutros»	99
algarrobo	100
guar	101
konjac	103
alholva	103
4. Polisacáridos heterogéneos ácidos: «mucílagos ácidos»	106
A. Plantaginaceae con mucílagos	106
zaragatona	109
ispagula	109
otros llantenos	110
B. Polisacáridos de Malvales	111
malva, altea	111
tilo	113
C. Otras drogas con «mucílagos»	117
lino	117
membrillo	118
5. Pectinas	118
6. Bibliografía	121